

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



⑯

Int. Cl. 2:

**G 10 H 5/00**

⑯ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

**DE 28 18 083 A 1**

⑯

## **Offenlegungsschrift 28 18 083**

⑯

Aktenzeichen: P 28 18 083.8

⑯

Anmeldetag: 25. 4. 78

⑯

Offenlegungstag: 8. 11. 79

⑯

Unionspriorität:

⑯ ⑯ ⑯

⑯

Bezeichnung: Digitaler Generator für musikalische Töne

⑯

Anmelder: National Research Development Corp., London

⑯

Vertreter: Mitscherlich, H., Dipl.-Ing.; Gunschmann, K., Dipl.-Ing.; Körber, W., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat.; Schmidt-Evers, J., Dipl.-Ing.; Pat.-Anwälte, 8000 München

⑯

Erfinder: Comerford, Peter James, Ilkley, West Yorkshire (Großbritannien)

**DE 28 18 083 A 1**

Dipl.-Ing. H. MITSCHERLICH  
Dipl.-Ing. K. GUNSCHEMANN  
Dr. rer. nat. W. KÖRBER  
Dipl.-Ing. J. SCHMIDT-EVERS  
PATENTANWÄLTE

D-8000 MÜNCHEN 22  
Steinsdorffstraße 10  
Tel. (089) 29 66 84

2818083 25. April 1978

NATIONAL RESEARCH DEVELOPMENT CORPORATION  
Kingsgate House  
66-74 Victoria Street  
London SW1E 6SL / England

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Digitaler Generator für musikalische Töne mit Wähl-einrichtungen zum Erzeugen eines die Wahl eines Tons bzw. einer Note anzeigen-de Wählsignals, Einrichtungen zum Speichern digitaler Bezugswellenformdaten, die sich auf im Bereich des Generators liegende Töne beziehen, sowie Einrichtungen zum Abfragen der Bezugswellenformdaten zum Zweck des Ableitens weiterer digitaler Daten zum Bestimmen des gewählten Tons, wobei die Abfragefrequenz die Höhe des Tons bestimmt, wenn der Ton unter Verwendung der weiteren digitalen Daten wiedergegeben wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Wähl-einrichtungen (10, 11) so ausgebildet sind, daß das Wählsignal die Tonhöhe und die harmonische Struktur des gewählten Tons bezeichnet, daß zu dem Generator eine Recheneinrichtung (12) gehört, die so programmiert ist, daß sie auf das Wählsignal anspricht, um Datensignale und Steuersignale zur Betätigung des Generators erzeugen zu können, und daß eine Synthetisiereinrichtung (13) vorhanden ist, die auf die in Frage kommenden Datensignale und Steuersignale anspricht, um die genannten Bezugswellenformdaten zu synthetisieren.

2. Generator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Synthetisiereinrichtung (13) geeignet ist, Daten zu synthetisieren.

909845/0058

tisieren, die mehrere Bezugswellenformen darstellen, und daß jede dieser Wellenformen einer zugehörigen vorbestimmten harmonischen Struktur entspricht, die zu einem bestimmten Satz von harmonischen Strukturen gehört, wobei dieser Satz die harmonische Struktur des gewählten Tons enthält.

3. Generator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zu den Wähleinrichtungen (10, 11) Einrichtungen gehören, die es ermöglichen, den Zustand gewählter Wahlanzeigeeinrichtungen (20, 21) zu verändern, die zu einer Anordnung von Wahlanzeigeeinrichtungen gehören, um die getroffene Wahl anzuzeigen, daß Einrichtungen (22, 23) vorhanden sind, die ein wiederholtes Abfragen der Anordnung ermöglichen, um den Zustand jeder Anzeigeeinrichtung zu ermitteln, und daß eine Komparatoreinrichtung (24) vorhanden ist, die dazu dient, die Zustände sämtlicher Anzeigeeinrichtungen im Verlauf von aufeinander folgenden Abfragevorgängen zu vergleichen, um immer dann eines der Wählsignale zu erzeugen, wenn die genannte Zustandsänderung eintritt.

4. Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zu der Synthetisiereinrichtung (13) eine Einrichtung (30a) gehört, die dazu dient, einleitende digitale Synthesizedaten zu speichern, die eine Sinuswellenform darstellen, daß Einrichtungen (33 - 36) vorhanden sind, die es ermöglichen, aus den einleitenden Synthesizedaten weitere digitale Synthesizedaten zu gewinnen, welche bezüglich der relativen Frequenz und der relativen Amplitude jede Harmonische darstellen, die einen Bestandteil einer vorbestimmten harmonischen Struktur bildet, und daß eine Einrichtung (30b) vorhanden ist, die dazu dient, die einleitenden Synthesizedaten und die weiteren Synthesizedaten einander zu überlagern, so daß sie eine Bezugswellenform darstellen.

5. Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch

gekennzeichnet, daß zu der Synthesisiereinrichtung (13) eine Einrichtung (38) zum Normieren der Wellenformdaten gehört, die es ermöglicht, den höchstwertigen Teil der Wellenformdaten in einem Speicher mit einer möglichst kleinen Speicherkapazität unterzubringen.

6. Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zu der Abfrageeinrichtung (14) eine Adressenwähleinrichtung gehört, die dazu dient, einen Speicher (49) zu adressieren, der eine Bezugswellenform enthält, um die Ableitung eines Abfragewertes innerhalb jedes Zeitintervalls einer Folge von durch gleichmäßige Abstände getrennten Zeitintervallen aus der Adresse durchzuführen, die in dem betreffenden Zeitintervall durch die Adressenwähleinrichtung angezeigt wird, daß zu der Adressenwähleinrichtung eine Zähleinrichtung (51) gehört, der während jedes der genannten Zeitintervalle ein zu zählender Teilbetrag zugeführt wird, und die so ausgebildet ist, daß sie die Adressenwähleinrichtung von einer angezeigten Adresse auf die nächstbenachbarte höhere Adresse in Abhängigkeit davon wechselt, daß ein vorbestimmtes kumulatives Zählergebnis erreicht wird, und daß die Folge von Abfragewerten mit einer Frequenz erzeugt wird, die es ermöglicht, den Ton, dessen Struktur durch die Bezugswellenform dargestellt wird, mit einer Tonhöhe wiederzugeben, die in Proportion zu dem Verhältnis zwischen dem zu zählenden Teilbetrag und dem vorbestimmten kumulativen Zählergebnis steht.

7. Generator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Adressenwähleinrichtung ferner geeignet ist, innerhalb jedes der genannten Zeitintervalle einen Abfragewert derjenigen Adresse zu entnehmen, welche gegenüber der durch die Adressenwähleinrichtung angezeigten Adresse die nächsthöhere ist, daß zu der Abfrageeinrichtung eine Einrichtung gehört, die dazu dient, die genannte Folge von Abfragewerten so zu gewinnen, daß jeder Abfragewert zwischen den Abfrage-

werten liegt, welche aus der angezeigten Adresse und der nächsthöheren Adresse entnommen werden, und daß der Zwischenwert für jedes Zeitintervall durch eine Interpolation entsprechend dem Verhältnis zwischen dem kumulativen Zählergebnis während des Intervalls und dem vorbestimmten kumulativen Zählergebnis gewonnen wird.

8. Generator nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung derart ist, daß eine der genannten Folgen von Abfragewerten aus einer ersten Bezugswellenform ableitbar ist, daß eine ähnliche Folge von Abfragewerten aus einer zweiten Bezugswellenform ableitbar ist, die zu dem gleichen Satz gehört wie die erste Bezugswellenform, daß eine Einrichtung zum Ableiten eines Zwischenwertes zwischen jedem Wert innerhalb der einen Folge und dem entsprechenden Wert innerhalb der anderen Folge vorhanden ist, und daß die Zwischenwerte durch eine Interpolation so gewonnen werden, daß sie einen Ton darstellen, welcher eine harmonische Struktur besitzt, die zwischen derjenigen der ersten Wellenform und derjenigen der zweiten Wellenform liegt.

9. Generator nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zu der Abfrageeinrichtung mehrere Abfragekanäle gehören, die nacheinander während zugehöriger Zeitintervalle zur Wirkung kommen, welche eine zyklische Folge von Zeitintervallen bilden, die insgesamt einer Abfrageperiode entsprechen, daß zu jedem Kanal eine der genannten Adressenwähleinrichtungen gehört, und daß eine Sammeleinrichtung vorhanden ist, die dazu dient, während jeder Abfrageperiode die weiteren digitalen Daten zu überlagern, welche während jedes Zeitintervalls der Abfrageperiode abgeleitet wurden, um die Amplitude einer zusammengesetzten Wellenform während jeder solchen Periode darzustellen.

10. Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch

gekennzeichnet, daß eine Einrichtung vorhanden ist, die dazu dient, den jeden gewählten Ton repräsentierenden weiteren digitalen Daten einen zugehörigen Wert auf einer Skala der relativen Amplitude zuzuweisen.

11. Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Umwandlungseinrichtung vorhanden ist, die dazu dient, die weiteren digitalen Daten in ein analoges Signal umzuwandeln.

12. Generator nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung vorhanden ist, die dazu dient, die digitalen Daten zu normieren, bevor sie umgewandelt werden, damit es möglich ist, den höchstwertigen Teil der Daten in einem Wandler von möglichst kleiner Kapazität unterzubringen, und daß eine Einrichtung vorhanden ist, die dazu dient, bei dem analogen Signal den Maßstab der relativen Amplitude wieder herzustellen, der den entsprechenden digitalen Daten vor der Normierung zugewiesen wurde.

13. Generator nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß zu der Einrichtung zum Normieren der digitalen Daten eine Einrichtung zum Nachweisen des Überlaufens der normierten Daten sowie eine Einrichtung zum Korrigieren des Überlaufens gehören.

14. Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß Einrichtungen für die akustische Wiedergabe des gewählten Tons vorhanden sind.

15. Generator nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß zu den Einrichtungen für die akustische Wiedergabe mehrere Kanäle gehören, und daß Einrichtungen vorhanden sind, die dazu dienen, gewählte Teile der weiteren digitalen Daten den zugehörigen Kanälen zuzuweisen.

16. Generator nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß zu den Zuweisungseinrichtungen Abfrage- und Halteschaltungen gehören, die den zugehörigen Tonfrequenzkanälen zugeordnet sind, sowie Einrichtungen, mittels welcher ein gewählter Stromkreis immer dann auf den Abfragebetrieb umgeschaltet wird, wenn dem zugehörigen Kanal Daten zugewiesen werden.

17. Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Generator so ausgebildet ist, daß er sich als elektronische Orgel betreiben läßt, und daß zu den Einrichtungen zum Erzeugen der Wählsignale mehrere Register und mehrere Tasten gehören.

18. Generator nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß Einrichtungen vorhanden sind, die dazu dienen, bei den jeden gewählten Ton repräsentierenden weiteren digitalen Daten kurzzeitige Veränderungen der Amplitude herbeizuführen, um die für eine Orgel charakteristischen Einschwing- und Abklingeffekte hervorzurufen.

Dipl.-Ing. H. MITSCHERLICH  
Dipl.-Ing. K. GUNSCHEMANN  
Dr. rer. nat. W. KÖRBER  
Dipl.-Ing. J. SCHMIDT-EVERS  
PATENTANWÄLTE

D-8000 MÜNCHEN 22  
Steinsdorferstraße 10  
DE (089) 29 66 84

2818083

NATIONAL RESEARCH DEVELOPMENT CORPORATION  
Kingsgate House  
66-74 Victoria Street  
London SW1E 6SL / England

Digitaler Generator für musikalische Töne

B E S C H R E I B U N G

Die Erfindung bezieht sich auf einen digitalen Generator für musikalische Töne, der insbesondere geeignet ist, bei elektronischen Musikinstrumenten, z.B. bei einer elektronischen Orgel, verwendet zu werden.

Schon seit langer Zeit werden Oszillatoren und andere analoge Vorrichtungen verwendet, um Musikinstrumente bekannter Art nachzuahmen. Während der letzten zwanzig Jahre hat die zunehmende Verwendung digitaler Verfahren zur Anwendung solcher Verfahren zum Synthetisieren von Sprach- und Musikwellenformen geführt. Bei einem Verfahren, über das zahlreiche Berichte vorliegen, dient ein entsprechend programmierter Rechner dazu, eine Folge von Amplitudenwerten in digitaler Form zur Darstellung einer musikalischen Komposition zu erzeugen. Hierbei lag es auf der Hand, daß es grundsätzlich möglich sein müßte, eine solche Folge anhand einer sich aus entsprechenden Zeichen zusammensetzenen Partitur zur unmittelbaren Wiedergabe über einen Digital-/Analog-Wandler und eine Phonoanlage zu erzeugen. Um die be-

909845/0058

grenzte Arbeitsgeschwindigkeit eines Rechners zum Berechnen von Augenblickswerten der Amplitude zu berücksichtigen, wurde in der Praxis eine Zwischenstufe eingeführt, die die Herstellung einer digitalen Aufnahme bei niedriger Geschwindigkeit und die Wiedergabe mit einer höheren Geschwindigkeit ermöglicht. Um ein gedachtes Orchesterinstrument darzustellen, müssen hierbei digital dargestellte Wellenformen abgefragt werden, die in dem Rechner gespeichert sind; dabei wird die Frequenz eines auf dem Instrument gespielten Tons durch die Abfragefrequenz bestimmt.

Es sei bemerkt, daß die Verwendung dauerhaft gespeicherter Informationen für eine einzige Wellenform zur Charakterisierung eines nachgeahmten Instruments über den ganzen in Frage kommenden Frequenzbereich eine Abweichung von der Realität darstellt, für die das Ohr sehr empfindlich ist. Insbesondere bei Pfeifenorgeln ist es bekannt, daß jeweils bei einem bestimmten Pfeifenregister der harmonische Aufbau, d.h. die Verteilung und die relative Amplitude der Obertöne, im Höhenbereich durch die relative Stärke der Grundnote und im Tiefenbereich durch die zunehmende Stärke der Obertöne gekennzeichnet ist. Daher ist es erwünscht, bei einer elektronischen Orgel eine entsprechende Anpassung des harmonischen Aufbaus an die Tonhöhe zu ermöglichen.

Durch die Erfindung ist nunmehr ein digitaler Generator für musikalische Töne geschaffen worden, der Einrichtungen aufweist, mittels welcher Wählsignale erzeugt werden, von denen jedes die Wahl eines bestimmten Satzes von harmonischen Strukturen anzeigt, ferner Einrichtungen zum Erzeugen weiterer Wählsignale, von denen jedes die Wahl eines Tons mit einer bestimmten Tonhöhe und einer vorbestimmten harmonischen Struktur innerhalb des genannten Satzes anzeigt, digitale Recheneinrichtungen, die so programmiert sind, daß sie auf jedes Wählsignal ansprechen, um harmonische Information

tions- und Steuersignale, Speicherdaten und Steuersignale sowie Abfragewähl- und Steuersignale zu erzeugen, Synthesiereinrichtungen, die auf die harmonischen Daten- und Steuer-signale ansprechen, um digitale Daten zu synthetisieren, welche mindestens eine Bezugswellenform darstellen, wobei die bzw. jede Bezugswellenform einem zugehörigen vorbestimmten Satz der genannten harmonischen Strukturen entspricht, Einrichtungen, die auf die Speicherdaten- und Steuersignale ansprechen, um die Bezugswellenformdaten zu speichern, sowie Abfrageeinrichtungen, die auf die Abfragewähldaten und die Steuersignale ansprechen, um nach Bedarf die gespeicherten Bezugswellenformdaten abzufragen, so daß weitere digitale Daten abgeleitet werden, welche den vorbestimmten harmonischen Aufbau des gewählten Tons darstellen, wobei die Abfragefrequenz die Höhe des Tons bestimmt, wenn der Ton mit Hilfe der zusätzlichen digitalen Daten wiedergegeben wird.

Zu den Synthesizerseinrichtungen können Einrichtungen gehören, die es ermöglichen, Daten zu speichern, welche eine Sinuswellenform darstellen, ferner Einrichtungen zum Ableiten harmonischer Daten aus den gespeicherten Daten sowie Einrichtungen zum Überlagern der gespeicherten Daten und der harmonischen Daten derart, daß die gewünschte Bezugswellenform entsteht.

Zu den Abfrageeinrichtungen können Adressiereinrichtungen gehören, mittels welcher der Bezugswellenform-Datenspeicher abgefragt werden kann, um an jeder gewählten Adresse einen Abfragewert zu bestimmen, wobei die Adressiereinrichtungen so ausgebildet sind, daß sie in Abhängigkeit von einem vorbestimmten kumulativen Eingangssignal-Zählergebnis von einer genannten Adresse zur nächsthöheren Adresse fortschreiten, sowie Einrichtungen zum Wählen von Adressen dadurch, daß sie ein schrittweise vergrößerbares Eingangszählergebnis den Adressiereinrichtungen in gleichmäßigen Zeitabständen zufüh-

ren, so daß sich die mittlere Abfragefrequenz entsprechend dem Verhältnis zwischen dem Steigerungsbetrag des Eingangszählergebnisses und dem vorbestimmten kumulativen Eingangszählergebnis ändert.

Zu den Abfrageeinrichtungen können ferner Einrichtungen gehören, die geeignet sind, eine Abfragewert-Interpolation zwischen den Abfragewerten durchzuführen, welche jeweils der angezeigten Adresse und der nächsthöheren Adresse entsprechen, wobei eine solche Interpolation immer dann stattfindet, wenn das kumulative Eingangszählergebnis, das auf einen Steigerungsbetrag für das Eingangszählergebnis folgt, kleiner ist als der vorbestimmte Wert.

Zu den Abfrageeinrichtungen können ferner Einrichtungen gehören, die es ermöglichen, einen Abfragewert abzuleiten, der als Interpolationswert zwischen den Werten liegt, die für entsprechende Adressen aus gespeicherten Daten ermittelt worden sind, welche zwei Bezugswellenformen darstellen, die zueinander in Beziehung stehende harmonische Strukturen aufweisen, so daß digitale Daten erzeugt werden, die einem musikalischen Ton entsprechen, dessen harmonische Struktur zwischen den dazu in Beziehung stehenden harmonischen Strukturen liegt.

Zu den Abfrageeinrichtungen können mehrere Abfragekanäle gehören, von denen jeder dazu dienen kann, die genannten zusätzlichen digitalen Daten zu erzeugen, sowie Addiereinrichtungen zum Überlagern der zusätzlichen digitalen Daten, die bei jedem Kanal einer vorbestimmten Zeitspanne entsprechen, um digitale Daten zu erzeugen, die eine zusammengesetzte Wellenform darstellen.

Die Abfragekanäle können sequentiell betätigt werden, und die Addiereinrichtungen können mit Verzögerungseinrichtungen

versehen sein, damit diejenigen Daten, welche sequentiellen Elementen der vorbestimmten Zeitspanne entsprechen, überlagert werden können.

Die Addiereinrichtungen können ferner mit Einrichtungen versehen sein, die es ermöglichen, den jedem Kanal entnommenen Daten vor ihrer Überlagerung einen zugehörigen Wert auf einer Skala relativer Amplitudenwerte zuzuweisen.

Ferner können bei den Addiereinrichtungen Normierungseinrichtungen vorhanden sein, mittels welcher die digitalen Daten, welche die Amplitude an jedem der Abfragepunkte darstellen, welche die zusammengesetzte Wellenform bilden, normiert werden, damit der höchstwertige Teil der Daten eine möglichst kleine Anzahl von Bits einnehmen kann.

Der digitale Generator kann Umwandlungseinrichtungen aufweisen, die auf die relevanten Daten- und Steuersignale ansprechen, um die eine zusammengesetzte Wellenform darstellenden digitalen Daten in ein analoges Signal zu verwandeln.

Zu den Umwandlungseinrichtungen gehören Einrichtungen, die dazu dienen, bei dem analogen Signal den Maßstab der relativen Amplitude wieder herzustellen, der ursprünglich den normierten digitalen Daten zugewiesen wurde.

Ferner können zu dem digitalen Generator Einrichtungen für die akustische Wiedergabe des analogen Signals vorhanden sein.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung in Gestalt einer elektronischen Orgel sind mehrere Register und Tasten vorhanden, die es ermöglichen, die Wählsignale und die zusätzlichen Wählsignale zu erzeugen; ferner ist ein erfindungsgemäßer digitaler Generator der vorstehend beschriebenen Art vorhanden, zu dem mindestens die beschriebenen Einrichtungen

zum Erzeugen digitaler Daten zum Darstellen einer zusammengesetzten Wellenform gehören, ferner die Einrichtungen zum Umwandeln der digitalen Daten in ein analoges Signal sowie die Einrichtungen für die akustische Wiedergabe des analogen Signals.

Aus der vorstehenden allgemeinen Beschreibung der grundsätzlichen Merkmale der Erfindung ist ersichtlich, daß die Erfindung in einem erheblichen Gegensatz zum Aufbau eines mit einem Rechner arbeitenden Musikgenerators bekannter Art steht, wie er einleitend beschrieben wurde. Gemäß der Erfindung wird jeder Ton innerhalb eines bestimmten Registers mit einem harmonischen Aufbau erzeugt, der für den betreffenden Ton charakteristisch ist, und die Beschränkungen, die sich aus der Verwendung einer gespeicherten Wellenform ergeben, werden vermieden. Ferner ist die Tatsache berücksichtigt, daß eine wirtschaftliche Benutzung der Recheneinrichtungen nur gewährleistet ist, wenn von vornherein die Notwendigkeit vermieden wird, sich wiederholende Zahlenfolgen zu erzeugen, wie sie zur Bestimmung eines anhaltenden Tons benötigt werden. Schließlich zeigt es sich, daß die Verwendung von Hardware für die Zwischenspeicherung von Wellenformen bei erhöhter Arbeitsschwindigkeit zu einer großen Vielseitigkeit führt.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden anhand schematischer Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 das Blockschaltbild einer elektronischen Orgel nach der Erfindung;

Fig. 2 eine Kontaktabtasteinrichtung für die elektronische Orgel nach Fig. 1;

Fig. 3 einen Wellenformgenerator für die elektronische Orgel nach Fig. 1;

Fig. 4 das Blockschaltbild eines Generators für musikalische Töne für die elektronische Orgel nach Fig. 1;

Fig. 5a bis 5e jeweils ein Fließschema für den Rechner nach Fig. 1; und

Fig. 6 das Blockschaltbild einer Interpolationseinrichtung für den Tongenerator nach Fig. 4.

Im folgenden wird zunächst anhand von Fig. 1 der allgemeine Aufbau einer erfindungsgemäßen elektronischen Orgel beschrieben. Zu der dargestellten Orgel gehört eine Konsole 10 bekannter Art mit zwei Handtastaturen und einer Pedaltastatur, zu denen Registerzüge gehören. Ferner sind Koppler vorhanden, die es z.B. ermöglichen, einander entsprechende Tasten verschiedener Tastaturen oder in Oktavenbeziehung zueinander stehende Tasten gemeinsam zu betätigen, wenn jeweils eine Taste betätigt wird. Bei einer Pfeifenorgel dient die Betätigung eines Registerzugs dazu, ein Pfeifenregister betriebsbereit zu machen, das gewählt wurde, um einen bestimmten Satz harmonischer Strukturen festzulegen. Wird eine Taste gedrückt, wird mindestens eine Pfeife des Satzes betätigt, der in Beziehung zu der Notation der Taste steht; der Grundton kann der Notation der Taste entsprechen, die gedrückt wurde, oder er kann entsprechend einer bestimmten harmonischen Beziehung verlagert sein. Wie eingangs erwähnt, ist es für eine Orgel ferner kennzeichnend, daß bei einem bestimmten Register der Tiefenbereich des Pfeifensatzes so ausgebildet ist, daß starke Obertöne erzeugt werden, während im Höhenbereich der Grundton vorherrscht und die höheren Obertöne unterdrückt werden.

Zur Nachahmung dieser Gegebenheiten ist es daher zunächst erforderlich, von der Konsole aus ein Wählsignal zu geben, um eine Änderung der Identität einer Taste oder eines Re-

gisters anzuzeigen. Die Wahl eines Registers bestimmt einen Satz von harmonischen Strukturen für die fortschreitenden Veränderungen der Tonqualität innerhalb der Tastatur. Die Wahl einer Taste identifiziert sowohl die gewünschte Tonhöhe als auch die richtige harmonische Struktur innerhalb des Satzes. Daraufhin ist es möglich, die Synthese einer geeigneten komplexen Wellenform und ihre Wiedergabe bei dem geforderten Grundton zu bestimmen. Gemäß der Erfindung werden diese Forderungen dadurch erfüllt, daß ein programmierte Rechner mit der zugehörigen Hardware kombiniert ist. Gemäß Fig. 1 ist eine Tasten- und Register-Abtasteinrichtung vorhanden, die den Zustand sämtlicher Schalterkontakte überwacht, durch welche die Tasten und Register dargestellt werden, und die ein entsprechendes Wählsignal einem Rechner 12 zuführt, wenn irgendeine Zustandsänderung nachgewiesen wird. In Abhängigkeit von einem Wählsignal werden Befehle in Form von Steuer- und Datensignalen zum Synthetisieren einer Wellenform mit dem gewünschten harmonischen Aufbau von dem Rechner 12 an einen digitalen Wellenformgenerator 13 abgegeben. Sobald die Synthese abgeschlossen ist, wird die Wellenform einem Speicher eines Generators 14 für musikalische Töne eingegeben. Dann führt der Rechner 12 dem Generator 14 Befehle zu, damit die gespeicherte Wellenform mit der Frequenz abgefragt wird, die erforderlich ist, um dem Ton die gewünschte Grundhöhe zuzuweisen. Weitere Befehle dienen dazu, die Amplitude der abgefragten Werte festzulegen. Das Ausgangssignal des Generators 14 repräsentiert die gewünschte Note in digitaler Form, die in einem Digital/Analog-Wandler 15 in die analoge Form umgesetzt wird, bevor sie einer Ausgangsstufe 16 bekannter Art zugeführt wird. Gewöhnlich gehören zu der Ausgangsstufe 16 nur ein Verstärker und ein Lautsprecher. Zunächst wird im folgenden die Arbeitsweise der Anordnung nach Fig. 1 für den Fall beschrieben, daß immer dann, wenn ein neues Wählsignal erzeugt wird, in dem Generator 13 von Anfang an eine entsprechende Wellenform synthetisiert wird. Zwar erweist sich dieses

Verfahren als durchaus brauchbar, doch wird weiter unten ein abgeändertes Verfahren beschrieben, das in der Praxis wegen seiner größeren Zweckmäßigkeit bevorzugt wird.

Im folgenden wird näher auf den Aufbau und die Wirkungsweise der Teile der Anordnung nach Fig. 1 eingegangen. In Fig. 2 sind weitere Einzelheiten der Tasten- und Register-Abtasteinrichtung 11 nach Fig. 1 dargestellt. Es sind etwa 250 Kontakte für sämtliche Tasten, Register und Hilfssteuereinrichtungen vorhanden, die bei der Konsole 10 nach Fig. 1 die in Fig. 2 dargestellte Anordnung 20 bilden. Natürlich richtet sich die Zahl der Kontakte nach der Größe des Instruments. Die Adressen und Zustände sämtlicher Kontakte der Anordnung 20 werden in einem 512-Bit-Schieberegister 21 gespeichert, und zum Abtasten der Anordnung 20 bezüglich irgendwelcher Zustandsänderungen dient eine Abtasteinrichtung mit einem Adressenzähler 22 und einem Multiplexer 23. Es wird eine einfache ODER-Gatter-Anordnung benutzt, so daß die Tastenkontakte auf die Betätigung von Kopplungseinrichtungen zwischen den Handtastaturen sowie zwischen den Handtastaturen und den Pedaltastaturen ansprechen. Normalerweise ist es daher nicht erforderlich, bei dem Abtastvorgang den jeweiligen Zustand der Kopplungseinrichtungen zu berücksichtigen, doch könnte man zu diesem Zweck entsprechende Maßnahmen treffen. Das Register 21 wird bezüglich des jeweiligen Zustandes jedes Kontaktes durch das Ausgangssignal des Multiplexers 23 auf dem neuesten Stand gehalten, und gleichzeitig wird dieser neueste Stand durch einen Komparator 24 mit dem Zustand verglichen, der in dem Schieberegister 21 nach der vorausgegangenen Abtastung festgehalten worden ist. Wenn ein Unterschied vorhanden ist, bewirkt das Ausgangssignal des Komparators 24, daß dem Rechner 12 ein Unterbrechungssignal von einer Unterbrechungsschaltung 25 aus zugeführt und die Abtastung automatisch unterbrochen wird. Über einen Datenausgangsmultiplexer 26 liest der Rechner dann die Adresse des Bits ab, bei dem die Änderung stattgefunden hat, und auch der Wert der Änderung

wird abgelesen. Danach wird die Abtastung aufgrund eines Rechnerbefehls wieder aufgenommen. Jeder Kontakt wird während einer Zeitspanne von 20 Mikrosekunden adressiert, so daß die Aktualisierung des Registers 21 eine Gesamtzeit von etwa 10 ms sowie eine sich nach der Anzahl der Kontaktänderungen richtende zusätzliche Zeit erfordert.

Der Rechner 12 reagiert auf abgetastete Daten, die anzeigen, daß das von der Konsole ausgehende Wählsignal verändert worden ist, dadurch, daß er nach dem entsprechenden Programm arbeitet, um eine Synthese der erforderlichen komplexen Bezugswellenform in dem Wellenformgenerator 13 nach Fig. 1 herbeizuführen. Die Wirkungsweise des Generators 13 ist aus Fig. 3 ersichtlich, wo die Schaltungselemente des Generators dargestellt sind. Wellenformdaten werden in zwei Speichern 30a und 30b bereitgehalten, von denen jeder Speichermöglichkeiten für 512 Abfragepunkte bietet, wobei die Amplitude jedes Abfragepunktes durch bis zu 16 Bits dargestellt wird. Bei dem Speicher 30a handelt es sich um einen programmierbaren Festwertspeicher mit einem Multiplexausgang, während der Speicher 30b ein Speicher mit direktem Zugriff ist. Zunächst wird dem Speicher 30a durch den Rechner 12 eine einfache Sinuswellenperiode eingegeben, um eine Grundlage für den Aufbau der Bezugswellenform zu schaffen. Um der Grundform der komplexen Wellenform einen Amplitudenfaktor zuzuweisen, wird die erforderliche Amplitude durch den Rechner 12 in einer harmonischen Amplituden-Verriegelungseinrichtung 33 eingestellt; hierbei wird einem harmonischen Zähler 34 das Zählergebnis 1 eingegeben, und es wird ein Generierbefehl erzeugt. Die Abfragepunkte der Sinuswelle werden einmal schrittweise durchlaufen, und die Ausgangswerte werden einem Vervielfacher 35 zugeführt, wo sie mit dem Amplitudenfaktor multipliziert werden, der in der harmonischen Amplituden-Verriegelungseinrichtung 33 gespeichert ist. Das Ausgangssignal des Vervielfachers 35 wird in einer Addiereinrichtung

36 zum Inhalt des Speichers 30b addiert, der in diesem Stadium den Wert 0 hat, und das Signal wird dem Eingang des Speichers 30b erneut zugeführt. Wenn die Wellenform eine zweite Harmonische enthalten soll, wird der harmonische Zähler 34 auf das Zählergebnis 2 eingestellt, die erforderliche Amplitude wird mit Hilfe der Verriegelungseinrichtung 33 eingestellt, und es wird erneut ein Generierbefehl erzeugt. In dem Speicher 30a werden jetzt die Sinuswellen-Abfragepunkte zweimal schrittweise durchlaufen, wobei jeder zweite Abfragepunkt ausgelassen wird, so daß zwei Perioden der Sinuswelle durch die gleiche Anzahl von Abfragewerten dargestellt werden wie die Grundwelle. Wie zuvor wird jeder Abfragewert mit dem Amplitudenfaktor multipliziert, das Ergebnis wird zum Wert des entsprechenden dem Speicher 30b entnommenen Abfragewerts addiert, und der Gesamtwert wird erneut dem Speicher 30b zugeführt. Dieses Verfahren wird unter Beibehaltung der Gesamtzahl der Abfragewerte bei jeder gewünschten Harmonischen wiederholt, bis eine einzige Periode der vollständigen komplexen Bezugswellenform generiert worden ist. Wie weiter unten erläutert, ergibt sich ein Vorteil, wenn der Anstieg der Wellenform beim Nulldurchgang möglichst klein gemacht wird. Zu diesem Zweck kann man bei jeder Harmonischen bzw. den gewählten Harmonischen eine Phasenverschiebung um  $180^\circ$  herbeiführen. Ein Eingangssignal, das der Rechner 12 einem zur Steuerung dienenden Lese- und Schreibzähler 37 zuführt, leitet dann einen Vorgang ein, mittels dessen die Wellenform aus dem Speicher 30b entnommen und gemäß Fig. 1 einem Wellenformspeicher des Generators 14 für musikalische Töne eingegeben wird. Der Zeitpunkt, in dem sich der Ausgabevorgang abspielt, wird durch ein weiteres Eingangssignal bestimmt, das dem Zähler 37 durch die Steuerseinrichtung 56 des Generators 14 zugeführt wird. Somit wird der Speicher 30b gelöscht, damit die nächste Wellenform generiert werden kann.

Die Gesamtzeit, die zur Erzeugung einer einzigen Harmonischen aus einer Bezugssinuswelle mit 256 Abfragepunkten benötigt wird, beträgt 256 Mikrosekunden. Eine komplexe Wellenform mit zehn Harmonischen erfordert daher zusätzlich zur Verarbeitungszeit des Rechners 2,56 ms. Ggf. kann man bei der komplexen Wellenform die Anzahl der Abfragepunkte auf 128 begrenzen oder sie auf 512 erhöhen.

Der Wellenformspeicher, in den die Bezugswellenform überführt wird, hat eine kleinere Kapazität als der Speicher 30b, und während der Überführung durch eine Normalisierungseinrichtung 38 wird das Ausgangssignal mit 16 Bits für die Speicherung mit 12 Bits normalisiert. Bei diesem Verfahren werden die digitalen Werte sämtlicher Abfragepunkte der Wellenform um die gleiche Zahl von Bits nach links verschoben, wie es möglich ist, ohne daß bei den größten Werten ein Überlauf stattfindet; das zulässige Ausmaß der Verschiebung wird ermittelt, wenn die Erzeugung der Bezugswellenform abgeschlossen ist. Dieses Verfahren gewährleistet, daß nur die niedrigstwertigen Bits, wenn solche vorhanden sind, von der Speicherung der 12 Bits ausgeschlossen werden.

Der Generator 14 für musikalische Töne ist mit weiteren Einzelheiten in Fig. 4 dargestellt. Entsprechend dem Speicher 30b des Wellenformgenerators 13 ist ein 256 x 12 -Bit-Wellenformspeicher 49a vorhanden, dem von dem Speicher 30b aus jeweils eine vollständige komplexe Bezugswellenform zugeführt wird. Der Speicher 49a sowie bis zu 31 ähnliche Speicher 49b bis 49m ermöglichen das Festhalten von 32 verschiedenen Wellenformen. Der Tongenerator 14 dient dazu, unter der steuernden Wirkung des Rechners 12 jede beliebige gewählte und gespeicherte Wellenform so abzulesen, daß mit der gewünschten relativen Amplitude ein Ton mit der gewünschten Höhe erzeugt wird. Die in Beziehung zu jeder Note stehenden Daten werden mittels eines gesonderten Kanals abgeleitet, so daß die Anzahl der gleichzeitig erzeugbaren Töne

nur durch die Anzahl der vorhandenen Kanäle begrenzt wird, die erheblich größer sein kann als die Anzahl der Speicher. Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel sind 40 Kanäle vorhanden, denen mit Hilfe der 32 Wellenformen, die in jedem Augenblick in den Speichern 49a bis 49m enthalten sind, 40 Töne entnommen werden können, die bezüglich ihrer Höhe und Amplitude voneinander unabhängig sind. Die Gruppe von Schaltungselementen des Generators 14, welche diese 40 Kanäle bilden, ist in Fig. 4 in die strichpunktierte Linie 50 eingeschlossen. Jedem Abfragekanal ist eine gesonderte Teilperiode der Periode des Systems zugewiesen; an nachfolgenden Punkten der Schaltung werden die resultierenden Daten in einem einzigen Kanal sequentiell verarbeitet.

Zu jedem der 40 Kanäle gehört ein 24-Bit-Tonhöhenzähler 51, dem ein 24-Bit-Tonhöhen-Teilbetragregister 52 zugeordnet ist, und diese Schaltungselemente bestimmen gemeinsam die gewünschte Frequenz, mit welcher der gewählte Wellenformspeicher 49 abgelesen wird. Die Wahl des abzufragenden Wellenformspeichers und des anzuwendenden Amplitudenfaktors wird bei jedem Kanal durch ein Amplituden- und Wellenformregister 53 geregelt, das mit den Registern 51 und 52 synchronisiert ist. Jedes Register 53 hat eine Kapazität von 26 Bits; hier von bestimmten 19 Bits die Abfragedaten, zu denen die zu verwendenden Adressen der Wellenformspeicher 49 gehören, während die 7 übrigen Bits eine logarithmische Folge von Amplitudenmaßstabsfaktoren bestimmen. Jedes Register 53 wird durch den Rechner 12 in Abhängigkeit von einem Ausgangssignal einer Addiereinrichtung 63 über ein gleichartiges Pufferregister 54 geladen. Ein solches Pufferregister wird benötigt, um eine zeitweilige Speicherung beabsichtigter Änderungen des Amplitudenmaßstabsfaktors oder bezüglich der Wahl eines Wellenformspeichers zu ermöglichen, denn es ist wichtig, daß die betreffende Wirkung nur dann hervorgerufen wird, wenn die Wellenform am Beginn der Periode am Nulldurchgang oder in seiner

Nähe abgefragt wird. Wenn Änderungen an anderen Punkten herbeigeführt werden, können unerwünschte Einschwingvorgänge hervorgerufen werden. Das Auftreten der gewünschten Nulldurchgänge wird automatisch mit Hilfe von in Fig. 4 nicht dargestellten Einrichtungen nachgewiesen, um die Abgabe von Daten aus dem Pufferregister 54 zu steuern. Da eine Verzerrung nur vermieden wird, wenn ein als Änderungspunkt gewählter Abfragepunkt einen kleinen Wert hat, wenn er nicht genau gleich Null ist, ist es erwünscht, den Anstieg der Wellenform nahe dem Nulldurchgang möglichst klein zu halten. Zu diesem Zweck kann man während der Erzeugung der Bezugswellenform in dem Speicher 30b beim Hinzufügen einer Harmonischen eine Phasenverschiebung um  $180^\circ$  herbeiführen.

Von dem Rechner 12 aus werden Daten dem Amplituden- und Wellenform-Pufferregister 54 und dem Tonhöhen-Steigerungsbetrag-Register 52 über ein 24-Bit-Pufferregister 55 eingegeben. Diese Dateneingabe wird durch den Rechner 12 über eine Steuereinrichtung 56 gesteuert, die über ein 4-Bit-Pufferregister 57 angeschlossen ist. Der Einfachheit halber sind die Verbindungen zwischen der Steuereinrichtung 56 und den Registern 52 und 54 in Fig. 4 nur durch Pfeile mit den Bezeichnungen PIR und AWBR angedeutet. Eine weitere Funktion, die über die Steuereinrichtung 56 bewirkt wird, besteht in der Steuerung der Überführung einer neu gewählten Bezugswellenform aus dem Speicher 30b nach Fig. 3 in einen der Speicher 49a bis 49m. Diese Aufgabe wird durch einen Wellenform-Eingabezähler 58 erfüllt, dessen Ausgangssignal einem Speicheradressenmultiplexer 59 zugeführt wird, um zu bewirken, daß die Bezugswellenformdaten den betreffenden Teilen des Speichers 49 eingegeben werden. Der betreffende Bereich wird durch ein Steuersignal identifiziert, das dem Eingabezähler 58 über eine Puffereinrichtung 58a zugeführt wird.

Um die Wirkungsweise des Generators nach Fig. 4 zu beschrei-

ben, wird zunächst betrachtet, auf welche Weise die jeweils in dem Speicher 49a festgehaltene Wellenform in diesem Stadium bei jeder gewünschten Tonhöhe digital wiedergegeben werden kann. Ein Befehl zum Wählen des Speichers 49a als abzufragender Speicher wird dem Register 53 zusammen mit dem Amplitudenbefehl eingegeben. Die Speicherwählinformation wird von der Amplitudeninformation im Ausgangssignal des Registers 53 getrennt und über einen Verzögerungspuffer 60a dem Speicheradressenmultiplexer 59 zugeführt. Das Amplitudenregelsignal des Registers 53 wird über einen Verzögerungspuffer 60b einem Puffer 61 zugeführt, um später verwendet zu werden. Nachstehend ist die Folge von Arbeitsschritten beschrieben, durch die dann bei einem einzigen Ausgabekanal die Tonhöhe bestimmt wird.

Es sei angenommen, daß sich der Tonhöhenzähler 51 am Beginn einer Abtastung sämtlicher 256 Abfragepunkte befindet, die eine einzige Periode der in dem Speicher 49a festgehaltenen Wellenform darstellen. Der Zähler 51 ist mit dem Speicheradressenmultiplexer 59 über einen Puffer 62 verbunden, wobei die acht obersten Bits verwendet werden, um den gewünschten Abfragewert zu adressieren und auszugeben. Die durch die acht obersten Bits des Zählers 51 festgehaltene Adresse wird dadurch weitergeschaltet, daß der Inhalt der unteren Stufe des Zählers 51 mit Hilfe des Tonhöhen-Teilbetragregisters 52 erhöht wird. Während der Teilperiode des Systems mit einer Dauer von etwa 800 ns wird ein Abfragewert abgelesen, der nacheinander für jeden Ausgabekanal zur Verfügung steht, und zwar jeweils einmal innerhalb jeder vollständigen Periode des Systems, deren Länge etwa 32 Mikrosekunden beträgt. Wenn jeder der 256 Abfragewerte nacheinander mit dieser Frequenz abgelesen wird, wird die Wellenform einer einzigen Periode innerhalb von etwa 8,2 ms vollständig abgefragt, und die Höhe des erzeugten Tons entspricht etwa 122 Hz. Dieser Wert wird im folgenden als Grundtonhöhe bezeichnet. Wenn nur jeder

zweite Abfragewert mit der gleichen Schrittgeschwindigkeit von einem Abfragewert je Teilperiode entnommen wird, entspricht natürlich die resultierende Tonhöhe dem Zweifachen der Grundtonhöhe; wird nur jeder dritte Wert abgefragt, verdreifacht sich die Tonhöhe, usw. Die Grenze der Gültigkeit des Abfrageverfahrens entspricht nur zwei Abfragewerten je Periode, wenn die Tonhöhe 15,6 kHz entsprechen würde. Dieser Wert stellt eine sehr brauchbare Grenze in Beziehung zum Frequenzbereich des menschlichen Ohrs dar. Bei niedrigeren Frequenzen muß die Schrittgeschwindigkeit herabgesetzt werden, so daß z.B. jeder der 256 aufeinander folgenden Abfragewerte nur bei jeder vierten Teilperiode abgefragt wird und sich eine Tonhöhe von 30,5 Hz ergibt.

Da die Zeitintervalle die gleiche Länge haben, wird die Schrittgeschwindigkeit durch die Größe des Teilbetrags bestimmt, der der unteren Stufe des Zählers 51 während jeder Teilperiode zugeführt wird. Während jeder dieser Teilperioden wird der Speicher 49a adressiert und gemäß der in dem Verzögerungspuffer 62 festgehaltenen Adresse abgelesen, die am Beginn der vorausgehenden Teilperiode durch den Tonhöhenzähler 51 angegeben wurde. Gleichzeitig wird der jeweilige Zustand der acht obersten Bits des Tonhöhenzählers 51 in den Puffer 62 überführt, und der Zähler 51 wird durch einen neuen Teilbetrag aus dem Tonhöhen-Teilbetragregister 52 auf den neuesten Stand gebracht. Wenn man das Verfahren betrachtet, bei dem mit den Teilbeträgen gearbeitet wird, ist ersichtlich, daß vorstehend zwar nur die Ableitung ganzzahliger Tonhöhenverhältnisse beschrieben worden ist, daß es jedoch auch leicht möglich ist, ein beliebiges nicht ganzzahliges Verhältnis zu erreichen. Anfänglich wird dem Tonhöhen-Teilbetragregister 52 ein Wert des Zählungsteilbetrags eingegeben, der durch den Rechner 12 bestimmt wird. Diese Größe wird zum Inhalt des Tonhöhenzählers 51 addiert, und zwar mit Hilfe einer 24-Bit-Addiereinrichtung 63, deren Ausgangssignal

zum Eingang des Zählers 51 zurückgeleitet wird. In dem Zähler 51 repräsentieren die 16 untersten Bits ein vorbestimmtes kumulatives Eingangszählergebnis, dem entsprochen werden muß, bevor die Wellenformspeicheradresse, die durch die acht obersten Bits des Zählers 51 angezeigt wird, zur nächsthöheren Adresse weitergeschaltet werden kann.

Somit wird ein 16-Bit-Teilbetragspeicher verwendet, um eine sehr feine Unterscheidung bezüglich des Tonhöhenverhältnisses zu ermöglichen. Um die Erläuterung zu vereinfachen, werden jedoch im folgenden nur die numerischen Schritte behandelt, die bei einem 10-Bit-Teilbetragspeicher durchlaufen werden.

Eine zyklische Steigerung um 1024 bewirkt, daß eine 10-Bit-Stufe jedesmal gefüllt wird, und daß die Adressenstufe des Tonhöhenzählers zur nächsthöheren Adresse weitergeschaltet wird. Hierbei handelt es sich um die grundsätzliche Frequenzbedingung. Eine zyklische Steigerung um 512 füllt die 10-Bit-Stufe nur nach zwei Perioden, so daß die Schrittschaltgeschwindigkeit und die Tonhöhe halbiert werden. Wenn jetzt die zyklische Steigerung geringfügig unterhalb der Basisfrequenz z.B. auf 992 verringert wird, füllt die erste Steigerung die 10-Bit-Stufe nicht, so daß bei der Adressenstufe keine Weiterschaltung erfolgt. Bei der zweiten Steigerung läuft die 10-Bit-Stufe über, so daß bei der Adressenstufe ein einziger Schaltschritt durchgeführt wird und die untere Stufe teilweise nachgefüllt wird. Bei jeder nachfolgenden Steigerung spielt sich ein Schaltschritt unter verringelter Nachfüllung ab, bis die Anzahl der Steigerungsbeträge dem Ausdruck  $1024/(1024 - 992) = 32$  entspricht, wobei ein Schaltschritt durchgeführt wird, jedoch keine Nachfüllung erfolgt. Dann wiederholt sich der Ausgangszustand, und bei dem dreiunddreißigsten Steigerungsbetrag spielt sich kein Schaltschritt ab. Somit haben 31 Schritte bei der Adressenstufe zweiunddreißig Teilbeträge erfordert. Die mittlere Abfragegeschwin-

digkeit, d.h. die Anzahl der Adressenstufen und Teilbeträge, ist dann gleich dem 31/32-fachen der Grundfrequenz, und die resultierende Tonfrequenz wird entsprechend um  $1/32 \times 122$ , d.h. um etwas weniger als 4 Hz verringert. Die Benutzung eines 10-Bit-Teilbetragsspeichers ermöglicht eine Frequenzauflösung von 1/1024, die etwa 0,12 Hz oder 1/60 eines Halbtone bei der Grundtonhöhe von 122 Hz entspricht. Daher ist die mit dem 16-Bit-Speicher des Zählers 51 erzielbare Auflösung sehr hoch. Programmierte Veränderungen des Teilbetrag kann dazu dienen, einen Vibrato-Effekt hervorzurufen oder eine regellose Veränderung der Tonhöhe herbeizuführen, wie sie bei einer Pfeifenorgel anzutreffen sein kann.

Ein Merkmal des vorstehend beschriebenen Verfahrens zum schrittweisen Abfragen besteht darin, daß die Höhe des erzeugten Tons durch die mittlere Abfragefrequenz bestimmt wird. Die Abfragefrequenz ist nur bei Harmonischen und Subharmonischen der Grundtonhöhe gleichmäßig, und bei allen übrigen Werten muß in dem Zeitintervall zwischen einander benachbarten Abfrageadressen eine periodische Unregelmäßigkeit erscheinen. Bei dem hier behandelten Beispiel führen der erste und der 33. Teilbetrag nicht zu einem Weiterschalten der Abfrageadresse, und wenn sich der Anstieg der Bezugswellenform an diesen Punkten schnell ändern würde, würden die nächsten Schritte zu ungewöhnlich großen Veränderungen des Abfragewertes führen. Bei dieser Unregelmäßigkeit handelt es sich um eine Form eines Digitalisierfehlers bei der Abfrageadresse, der immer dann auftritt, wenn dem Tonhöhenzähler 51 ein Teilbetrag zugeführt wird, der weder ein Vielfaches noch ein ganzzahliges Teil der Speicherkapazität für Teilbeträge ist. Es wurde gezeigt, daß jeder Adressenteilbetrag in Abhängigkeit davon auftritt, daß der Speicher für die Teilbeträge genau gefüllt wird, und zwar bei der Grundtonhöhe und ihren Harmonischen. In den meisten Fällen wird im Speicher für die Teilbeträge ein bemerkbares rest-

liches Zählergebnis vorhanden sein, so daß man sagen kann, daß die wahre Adresse zwischen der angezeigten Adresse und der als nächste verfügbaren liegt. Bei der beschriebenen Anordnung, die schrittweise arbeitet, wurde während einer Teilperiode nur die angezeigte Adresse gelesen, doch ist die Arbeitsgeschwindigkeit derart, daß während der gleichen Teilperiode auch die nächste Adresse gelesen werden kann. Hierdurch wird es möglich, ein lineares Interpolationsverfahren anzuwenden, das einen gewichteten Wert zwischen den beiden Abfragewerten liefert, die durch diese Adressen repräsentiert werden, so daß der Digitalisierungsfehler im wesentlichen beseitigt wird. Die Interpolation wird durch eine Einrichtung 65 durchgeführt, der das Ausgangssignal des Speichers 49 zugeführt wird. Auf die Wirkungsweise dieser Anordnung wird weiter unten eingegangen.

Bei der vorstehenden Beschreibung ist angenommen, daß die in dem Speicher 49a festgehaltene Wellenform statisch ist. In der Praxis wird dies häufig bei Zeitspannen zutreffen, die zwar tatsächlich kurz sein können, die jedoch die Erzeugung einer großen Anzahl von Perioden der Wellenform repräsentieren. Ein wichtiges Merkmal der Erfindung besteht jedoch darin, daß es in kurzen Zeitabständen möglich ist, die gespeicherte Wellenform mit Hilfe neuer Daten aus dem Wellenformspeicher 30 nach Fig. 3 zu modifizieren. In Verbindung mit dem Weiterschalten des Tonhöhenzählers 51 wurde festgestellt, daß ähnliche Zähler bei jedem von 40 Kanälen sequentiell arbeiten, und zwar während einer Teilperiode von 800 ns innerhalb einer Periode von 32 Mikrosekunden. Diese Zykluszeit läßt somit keine freien Teilperioden zum Laden der Wellenform zu. Jedoch wird es dem Zähler 58 ermöglicht, dem Speicher 49 während jeder Teilperiode, während welcher die gespeicherte Wellenform die Null-Linie durchläuft, neue Daten einzugeben.

Der Einfachheit halber wurde die Arbeitsweise des Generators 14 für musikalische Töne bezüglich der Benutzung eines einzigen Lesekanals beschrieben. Natürlich kann man jede beliebige Anzahl der 40 Kanäle, die durch die Register 51, 52, 53 und 54 gebildet werden, unabhängig voneinander betätigen, um gleichzeitig eine entsprechende Anzahl von Tönen zu erzeugen. Diese Töne können auf den Wellenformen basieren, die in einem oder mehreren der Speicher 49a bis 49m festgehalten werden, denn es besteht keine feste Beziehung zwischen bestimmten Kanälen und den Speichern, die durch sie adressiert werden können. Da die Kanäle nacheinander betätigt werden, ist anfänglich ein Intervall von 32 Mikrosekunden zwischen den Ausgangssignalen des ersten und des vierzigsten Kanals vorhanden, doch werden die Ausgangssignale sämtlicher Kanäle einander später überlagert.

Die einzelnen Wellenform-Abfragewerte, die jedem der Kanäle während einer einzigen Periode des Tonhöhenzählers 51 entnommen werden, bilden somit schließlich einen einzigen Punkt auf einer zusammengesetzten Ausgangswellenform, doch muß zunächst für jeden einzelnen Wert der Amplitudenmaßstab festgelegt werden. Die Abfragewerte werden den Speichern 49 nacheinander durch einen noch zu beschreibenden Interpolator 65 entnommen und einer Verschiebungseinrichtung 72 zugeführt.

Die Festlegung des Maßstabs erfolgt in einem Amplitudenvervielfacher, der eine Stufe der Verschiebungseinrichtung 72 nach Fig. 4 bildet, welcher Amplituden-Vervielfachungsdaten von dem Register 53 aus über Pufferstufen 60b und 61 zugeführt werden. Der Regelbereich erstreckt sich über 127 logarithmische Amplitudenschritte, und die dem Register 53 entnommenen Daten bestimmen den Schritt, welcher dem Abfragepunkt zugewiesen wird, welcher in einem bestimmten Zeitpunkt einem bestimmten Kanal entnommen wird. Jenseits der Verschiebungseinrichtung 72 werden die einzelnen Amplitudenschritte

für sämtliche Kanäle, die sich während der betreffenden Periode in Betrieb befanden, während jeder Periode des Systems in einer Addier- und Sammeleinrichtung 73 gesammelt, um einen zusammengesetzten Ausgangswert für diese Periode darzustellen.

Dieser Amplitudenwert muß aus seiner digitalen Form in eine analoge Form überführt werden, um dem Niederfrequenzteil zugeführt werden zu können; um eine wirtschaftliche Umwandlung zu ermöglichen, muß der digitale Wert in eine normierte Form gebracht werden. Dies hat seinen Grund darin, daß eine digitale Speicherung zwar nur relativ geringe Kosten verursacht, daß jedoch die Kosten eines Digital/Analog-Wandlers mit zunehmender Leistung sehr steil ansteigen. Ein 12-Bit-Wandler dürfte einem vertretbaren Grenzwert entsprechen, und die zuführenden Eingangssignale müssen dieser Kapazität angepaßt sein. Die Addier- und Sammeleinrichtung 73 kann 24 Bits verarbeiten, und es ist eine Normierung erforderlich, um die Datenverluste bei der Überführung in den Wandler möglichst gering zu halten. Bei dem angewendeten Verfahren wird eine Linksverschiebung jedes einzelnen Amplitudenschritts durch die Verschiebungseinrichtung 72 vor dem Eingehen in die Addier- und Sammeleinrichtung 73 herbeigeführt. Bei der Einrichtung 73 muß ein Überlaufen verhindert werden, und eine Möglichkeit hierfür besteht darin, das Ausmaß der Linksverschiebung so zu begrenzen, daß niemals ein Überlaufen eintreten kann, doch ist dies im Hinblick auf die Daten unwirtschaftlich und führt zu einer Erhöhung des relativen Rauschpegels. Es wird vorgenommen, dafür zu sorgen, daß ein Überlaufen bei der Addierstufe der Einrichtung 73 nachgewiesen wird, wenn dem angezählten Gesamtwert jeweils ein neuer Teilbetrag hinzugefügt wird. Hierbei ist es möglich, jeweils mit der maximalen Linksverschiebung zu arbeiten, bei der gerade noch kein Überlaufen verursacht wird. Der Verschiebungsbefehl wird der Verschiebungsstufe der Einrichtung 72 über eine Normierungs- und Steuereinrichtung 74 zugeführt, die außerdem an einen Verstärkungsregler 75 angeschlossen ist. Das Auftreten eines

Überlaufens bei der Addier- und Sammeleinrichtung 73 bewirkt, daß ein Signal der Normiereinrichtung 74 zugeführt wird, damit der Überlaufzustand durch eine Rechtsverschiebung vor der Eingabe eines weiteren Teilbetrags beseitigt werden kann. Ist der Sammelforgang abgeschlossen, wird der effektive Verschiebungswert durch den Verstärkungsregler 75 festgehalten.

Wie in Verbindung mit der Einleitung von Veränderungen der Amplituden- und Wellenform-Speicherwähldaten in den Registern 53 und 54 erläutert, dürfen Veränderungen der Verstärkungs- und Normierungsdaten nur herbeigeführt werden, wenn die von der Änderung betroffene Größe nahezu oder tatsächlich den Wert Null hat. Der Rechnerbefehl wird daher in einem Puffer 76 festgehalten und nur dann weitergeleitet, wenn den Normierungs- und Verstärkungsregeleinrichtungen 74 und 75 ein Änderungszulassungssignal zugeführt wird. Nach der Normierung wird der Addier- und Sammeleinrichtung 73 der Gesamtwert über einen 12-Bit-Puffer 77 entnommen, um einem 12-Bit-Digital/Analog-Wandler 78 zugeführt zu werden. Das analoge Ausgangssignal des Wandlers 78 hat infolge der Normierung einen falschen Amplitudenmaßstab, doch wird es durch einen multiplizierenden Digital/Analog-Wandler 79 um einen genau entsprechenden Betrag gedämpft. Zu diesem Zweck wird ein digitaler Verstärkungskompensationsfaktor, welcher der Verstärkungsregeleinrichtung 75 entnommen wird, dem Multipliziereingang des Wandlers 79 zugeführt. Das analoge Ausgangssignal des Wandlers 79 bestimmt einen Spannungspegel, der die Amplitude der gewünschten zusammengesetzten Wellenform während der Dauer eines Instrumentenzyklus darstellt. Wenn nur die Grundfrequenz des Abfrage- systems vorhanden ist, wird dieser Pegel in Abständen von 32 Mikrosekunden schrittweise jeweils um einen kleinen Betrag erhöht, so daß eine vollständige Periode der Ausgangsfrequenz in 256 Schritten durchlaufen wird. Bei einer Ausgangsfrequenz, die unter der Grundfrequenz liegt, ist die Anzahl der je Periode

durchlaufenen Schritte höher als 256, und bei sehr hohen Frequenzen ist diese Zahl erheblich niedriger. Nach einer Verstärkung durch einen Verstärker 81 wird die zusammengesetzte Wellenform einem Lautsprecher 82 zugeführt.

Die räumliche Verteilung der Schallquellen bei einer Pfeifengel lässt sich mit Hilfe eines einzigen Lautsprechers oder mehrerer Lautsprecher, denen jeweils das gleiche Signal zugeführt wird, nicht realistisch nachahmen. Der musikalische Eindruck lässt sich erheblich verbessern, wenn man zwei oder mehr unabhängige Tonfrequenzkanäle verwendet; bei der beschriebenen Anordnung ist es ohne weiteres möglich, den Daten, die jedem Amplituden- und Wellenformregister 53 zugeführt werden, einen Befehl hinzuzufügen, der angibt, welchem Kanal das Ausgangssignal zugeführt werden soll. Alternativ kann man einen Teil der Kapazität des Tongenerators 14 jedem Tonfrequenzkanal zuweisen. Bei den Ausgangsstufen, die in Fig. 4 durch strichpunktierte Linien angedeutet sind, und die man ggf. vorsehen könnte, würden die bezüglich des ersten Kanals beschriebenen Arbeitsschritte bei einem zweiten Kanal wiederholt. Hierbei wird in einem Puffer 86 ein Normierungsbefehl für die Normierungseinrichtung 74 und eine weitere Verstärkungsregeleinrichtung 85 festgehalten. Nach der Normierung wird das Gesamt signal der Addier- und Sammeleinrichtung 73 über einen Puffer 87 einem weiteren Digital/Analog-Wandler 88 zugeführt. Das analoge Ausgangssignal des Wandlers 88 wird durch einen multiplizierenden Digital/Analog-Wandler 89 gedämpft, dem der benötigte Dämpfungsfaktor durch die Verstärkungsregeleinrichtung 85 zugeführt wird. Das Ausgangssignal des Wandlers 89 wird durch einen Verstärker 91 verstärkt und durch einen zweiten Lautsprecher 92 wiedergegeben. Die Stufen 85 - 92 ähneln den Stufen 75 - 82. Eine nicht dargestellte Kanalschaleinrichtung ermöglicht es, das Ausgangssignal der Einrichtung 73 dem zugehörigen Kanal über den Puffer 77 oder den Puffer 87 zuzuführen.

Bei einer nicht dargestellten anderen Ausführungsform ist es möglich, die Verwendung von zwei Digital/Analog-Umwandlungsstufen zu vermeiden, indem man einen einzigen Kanal benutzt, der an die Addier- und Sammeleinrichtung 73 über die Einrichtungen 77 und 78 angeschlossen ist und zu dem multiplizierenden Digital/Analog-Wandler 79 führt, dessen Ausgangssignal dann auf die gewünschte Anzahl von Tonfrequenzkanälen verteilt wird, die jeweils über eine Abfrage- und Halteschaltung angeschlossen sind. Hierbei dient eine Kanalumschalteinrichtung dazu, jeweils einen gewählten Kreis auf den Abfragebetrieb umzuschalten, wenn dem zugehörigen Tonfrequenzsignal Daten zugeführt werden sollen.

Die Erzeugung der Ausgangswellenform wurde im einzelnen beschrieben, um deutlich zu machen, daß sich innerhalb des hörbaren Bereichs jede beliebige Tonhöhe erzielen läßt, und daß sich die harmonische Struktur ohne Rücksicht auf die Tonhöhe in weiten Grenzen verändern läßt. Ferner ist es erforderlich, die Einschwingeffekte zu berücksichtigen, durch welche sich die verschiedenen Instrumente für den Hörer von einander unterscheiden. Die Geschwindigkeit des Amplitudenanstiegs bzw. die Einschwingzeit am Beginn des Tönen einer Orgelpfeife und die Geschwindigkeit des Abklingens beim Wegfall der Erregung stellen wichtige Merkmale sowohl von Orgelpfeifen als auch von anderen nachzuahmenden Instrumenten dar. Es ist ersichtlich, daß die beschriebenen Einrichtungen zum Regeln der Amplitude sämtliche Erfordernisse bezüglich der Durchführung einer beliebigen programmierten Veränderung der Amplitudenhüllkurve erfüllen, die erforderlich ist, um bestimmte Einschwing-, Abkling- oder Tremolo-Effekte zu erzielen. Auf ähnliche Weise läßt sich ein Vibrato-Effekt innerhalb jeder erforderlichen Frequenzveränderung leicht erreichen, indem man die Schaltgeschwindigkeit des Tonhöhenzählers 41 entsprechend verändert. Ein weiteres Merkmal von Pfeifenorgeln besteht im Auftreten eines anfänglichen Einschwingvorgangs, der als "chiff" bezeichnet wird. Hierbei

handelt es sich um einen kurzen Energieimpulse bei einer bestimmten harmonischen Frequenz, der sich während des Aufbaus des Grundtons und des allgemeinen harmonischen Musters einer Orgelpfeife bemerkbar macht. Ferner ist es möglich, andere Einschwingvorgänge zu reproduzieren, die für Orgelpfeifen, gezupfte Saiten und andere Spielweisen kennzeichnend sind.

Wie erwähnt, ist es erforderlich, musikalische Töne zu erzeugen, die den verschiedenen Tasten einer Tastatur entsprechen und die richtige harmonische Struktur aufweisen. Um ein Verfahren zu erläutern, mittels dessen dies gemäß der Erfindung erreicht wird, wurde der Aufbau und die Wirkungsweise einer Orgel beschrieben, bei welcher jeweils eine neue Wellenform erzeugt wird, sobald eine andere Taste betätigt wird. In der Praxis kann man Vorteil aus der Tatsache ziehen, daß bei einem bestimmten Register die Veränderungen der harmonischen Struktur längs der Tastatur zügig fortschreiten. Das nachstehend beschriebene Verfahren, bei dem mit einer linearen Interpolation zwischen festen Punkten gearbeitet wird, liefert sehr zufriedenstellende Ergebnisse, wobei man mit einer kürzeren Rechenzeit auskommt.

Nachdem das gewünschte Register gewählt worden ist, werden in der beschriebenen Weise Wellenformen synthetisiert, die bei dem betreffenden Register genau einer bestimmten Anzahl von Tasten jeder Tastatur entsprechen. Bei einem einfachen Beispiel könnte man vier C-Noten in Oktavenabständen für jedes Manual und eine einzige C-Note für die Pedaltastatur wählen. Diese neun Wellenformen werden in den Wellenformspeichern 49 unverändert festgehalten, bis ein anderes Register gewählt wird. Wenn dies geschieht, werden die betreffenden Wellenformen durch Wellenformen ersetzt, die erneut erzeugt werden und dem C bei dem neu gewählten Register entsprechen. Soll eine C-Note gespielt werden, wird die Wellenform dem

betreffenden Speicher unter Anwendung des beschriebenen Abfrageverfahrens direkt entnommen. Liegt jedoch der gewünschte Ton zwischen zwei der gespeicherten C-Töne, werden beide C-Töne ausgelesen, doch wird für jedes Paar von Abfragewerten ein Zwischenwert abgeleitet, der je nach der Lage des Tons in Richtung auf den oberen oder den unteren Wert gewichtet wird. Dieser Zwischenwert entspricht einer weitgehenden Annäherung an den Abfragewert, den man bei einer Wellenform erhalten haben würde, die für die betreffende Note spezifisch ist, und er wird zur akustischen Wiedergabe in der anhand von Fig. 4 beschriebenen Weise verarbeitet. Der Zwischenwert wird in der Interpolationseinrichtung 65 gewonnen, die zwischen dem Ausgang der Wellenformspeicher 49 und der Verschiebungseinrichtung 72 liegt.

Nunmehr ist ersichtlich, daß die Interpolationseinrichtung 65 zwei Aufgaben erfüllt. Erstens kann ein Zwischenwert zwischen den Abfragewerten abgeleitet werden, die in einem einzigen Wellenformspeicher zwei benachbarten Adressen entnommen werden, wenn die gedachte Adresse zwischen diesen Adressen liegt. Zweitens ist es gemäß dem vorstehenden Absatz möglich, einen Zwischenwert zwischen den Abfragewerten abzuleiten, die entsprechenden Adressen in zwei Wellenformspeichern entnommen werden, wenn die gewünschte Wellenform in Beziehung zu jeder der beiden gespeicherten Wellenformen steht.

Fig. 6 zeigt ein Blockschaltbild der Einrichtung 65, deren Daten- und Steuereingänge aus Fig. 4 ersichtlich sind. Wie erwähnt, werden während jedes Intervalls von 800 Mikrosekunden Werte für einen einzigen Kanal der Adresse entnommen, die durch den Tonhöhenzähler 51 angezeigt wird, sowie der nächsthöheren Adresse. Es ist ein Interpolationsspeicher 66 mit zwei Speichern 66A und 66B vorhanden, denen die beiden Abfragewerte aus dem Wellenformspeicher 49 zugeführt werden. Die Lage jedes Abfragewertes in dem Speicher 66 wird durch ein Signal des Wellenformregisters 53 bestimmt, das über den

Ausgangspuffer 60a und einen weiteren Verzögerungspuffer 64 zugeführt wird. Die Daten werden auf die Speicher 66A und 66B so aufgeteilt, daß der Abfragewert der unteren der beiden Adressen in dem Speicher 66A und der Abfragewert der höheren Adresse in dem Speicher 66B festgehalten wird. Um den gespeicherten Werten die richtigen Gewichtungsfaktoren zuzuweisen, wird der erste Wert aus dem Speicher 66A in eine Multipliziereinrichtung 67A überführt, während der zweite Wert aus dem Speicher 66B in eine Multipliziereinrichtung 67B überführt wird. Die vier obersten Bits aus dem Teilbetragsspeicher des Tonhöhenzählers 51 werden der Einrichtung 67A über einen Verzögerungspuffer 68 eingegeben und von sechzehn abgezogen; das Ergebnis wird durch 16 geteilt und mit dem ersten Abfragewert multipliziert. Entsprechend werden die gleichen vier Bits der Einrichtung 67B eingegeben und mit dem zweiten Abfragewert multipliziert; dann wird das Ergebnis durch 16 geteilt. Die Ausgangssignale der Einrichtungen 67A und 67B werden in einer Addier- und Sammeleinrichtung 69 summiert, so daß man den gewünschten Zwischenwert erhält. Soll eine Wellenforminterpolation durchgeführt werden, wird dieser Wert weiter in einer Addiereinrichtung mit einem Gewichtungsfaktor  $p$  multipliziert, der durch den Rechner 12 über das Register 53 abgegeben wird, und das Produkt wird in der Addier- und Sammeleinrichtung 71 festgehalten. Das gesamte Verfahren zum Gewinnen eines Zwischenwertes wird dann für die beiden Abfragewerte aus dem zugehörigen Kanal wiederholt, doch wird dieser Zwischenwert in der Einrichtung 70 mit dem Gewichtungsfaktor  $(16 - p)$  multipliziert. Das Produkt wird zu dem in der Einrichtung 71 festgehaltenen Wert addiert, und die Summe wird durch die Einrichtung 65 ausgegeben. Es ist natürlich ohne Bedeutung, daß der Interpolationsvorgang in manchen Fällen auch dann durchgeführt wird, wenn einer der beiden Abfragewerte schon genau den richtigen Wert hat. Dieser Wert wird dann beibehalten, denn der bei dem anderen Wert verwendete Gewichtungsfaktor hat den Wert Null.

Eine Interpolation zwischen zwei gespeicherten Wellenformen kann durch die Einrichtung 65 während der gleichen Zeitspanne durchgeführt werden, die anderenfalls für das Ausgeben eines einzigen Abfragewertes benötigt würde. Dieses Verfahren erweist sich somit bezüglich seiner Durchführungsgeschwindigkeit als vorteilhaft, wenn man es mit dem gleichwertigen analogen Software-Verfahren vergleicht, bei dem die Vorschriften für eine interpolierte Wellenform im Rechner aus gespeicherten Daten für die beiden benachbarten Wellenformen gewonnen werden. Bei der Durchführung der zusätzlichen Rechenarbeiten, auf welche die harmonische Synthese folgt, läßt sich dann eine erhebliche Verzögerung nicht vermeiden.

Bei dem Rechner 12 lassen sich auf vorteilhafte Weise die neuerdings verfügbaren Mikroschaltungen verwenden, z.B. das Fabrikat Zilog Z 80A, bei dem es sich um einen Mikroprozessor in Form eines einzigen Chips handelt, dem Speicher mit direktem Zugriff und Festwertspeicher in Form von Chips zugeordnet sind; jedoch wäre es jedem Fachmann möglich, auch andere Schaltungselemente zu verwenden. Aus dem gleichen Grund wird es nicht für erforderlich gehalten, bestimmte handelsübliche digitale Schaltungselemente bekannter Art zu nennen, die in den Blockschaltbildern angedeutet sind.

Es ist ferner ersichtlich, daß die Funktionen, die den Betrieb des beschriebenen Instruments ermöglichen, auf den Rechner und die zugehörige Hardware im Rahmen der Erfindung auch in einem gewissen Ausmaß auf andere Weise aufgeteilt werden könnten. Im folgenden wird das Programm, nach dem der Rechner 12 arbeitet, in großen Zügen beschrieben.

In Fig. 5a bis 5e sowie in der nachstehenden Beschreibung werden die nachstehenden Abkürzungen verwendet:

GENS - die 40 Wellenformlesekanäle des Tongenerators 14  
nach Fig. 1

CG - eine Routine zum Prüfen des Zustandes der GENS und zum Durchführen etwa erforderlicher Veränderungen

WWS - die Wellenformspeicher 49 nach Fig. 4, die zu dem Tongenerator 14 nach Fig. 1 gehören

KCH - eine Routine für die Reaktion auf Veränderungen des Zustandes von Tasten- und Registerkontakten

Bei dem Steuerprogramm werden die nachstehenden Tabellen für die Arbeitsspeicher verwendet:

GENs: bei jedem Generatorkanal werden die nachstehenden Informationen gespeichert:

1. Kennzeichen (Aktualisieren, Chiff, Einschwingen, Abklingen, in Gebrauch befindlich)
2. Tonhöhe
3. Chiff-Parameter
  - a) Dauer
  - b) zuerst zu erzeugende Harmonische
4. Amplitudenparameter
  - a) maximaler Wert im eingeschwungenen Zustand
  - b) Augenblickswert
  - c) Einschwinggeschwindigkeit
  - d) Abklinggeschwindigkeit
5. WVS-Nummer
6. Identifizierung:
  - a) Manualnummer
  - b) Tastennummer

WVS: für jeden Wellenformspeicher:

1. a) Manualnummer  
b) Tastennummer, für welche die Wellenform richtig ist
2. Anzahl der GENs, welche diesen Speicher benutzen
3. a) maximale Amplitude  
b) Einschwinggeschwindigkeit  
c) Abklinggeschwindigkeit

Fig. 5a zeigt das Fließschema für das Hauptprogramm, durch das zunächst die Benutzung aller Arbeitsspeichertabellen (Block M1) eingeleitet wird. Sämtliche Generatoren werden freigesetzt, und das Kennzeichen "in Gebrauch" wird gelöscht. Dann werden WVS-Signale eingegeben, um verschiedene Gruppen von Tasten jedes Manuals darzustellen, so daß bei der erstmaligen Betätigung einer Taste eine annähernd richtige Wellenform zur Verfügung steht. Nach dem Einschalten der Unterbrechungseinrichtung bewirken Unterbrechungssignale, die mit Hilfe der Register und Tasten der Konsole erzeugt werden, daß die GENs und WVSs auf den neuesten Stand gebracht werden. Bei dem Block M2 prüft das Hauptprogramm das Kennzeichen "Register geändert", und wenn dieses Kennzeichen vorhanden ist, werden neue Wellenformen für die in Frage kommenden WVSs berechnet. Bei dem Block M3 können etwa vorhandene Reserve-WVS verwendet werden, um den Fehler zu verringern, der dadurch verursacht wird, daß bei einem Teil der Tastatur zeitweilig eine Wellenform verwendet wird, die für einen anderen Teil der Tastatur berechnet wurde. Die Blöcke M1 und M2 dienen auch zur Steuerung der Erzeugung von Bezugswellenformen und ihrer Eingabe in WVS-Speicher.

In die Taktunterbrechungsroutine nach Fig. 5b wird immer dann eingetreten, wenn ein Unterbrechungssignal durch einen Taktgenerator erzeugt wird, der in Intervallen von etwa 4 ms in Tätigkeit tritt. Alle Befehle für den Tongenerator, die sich auf die Amplitude (einschließlich des Einschwingens, des Abklingens und der Normierung) beziehen, gehen von dieser Routine aus. Es werden kleine regellose Veränderungen der Tonhöhe und der Amplitude herbeigeführt, um zu gewährleisten, daß zwischen den Tönen keine Phasenstarrheit auftritt. Die Unterroutine CG zum Prüfen und Aktualisieren der GENs ist in Fig. 5c dargestellt. Sobald ein Abklingvorgang bei einem beliebigen Kanal abgeschlossen ist, wird das Kennzeichen "in Gebrauch" gelöscht, und das Zählergebnis der GENs, welche die

zugehörigen WVS benutzen, wird um 1 verringert.

Die Konsolen-Unterbrechungsroutine nach Fig. 5d gilt für den Betrieb der Unterbrechungsschaltung 25 nach Fig. 2. Registeränderungen bewirken, daß das Kennzeichen "Register geändert" gesetzt wird, und daß die Registertabelle, die den jeweiligen Zustand jedes Registers enthält, aktualisiert wird. Die Subroutine KCH nach Fig. 5e dient zum Einleiten und Beenden von Tönen.

Vorstehend wurde eine elektronische Orgel beschrieben, um die Wirkungsweise der Erfindung zu erläutern und ihre vielseitige Anwendbarkeit erkennbar zu machen. Natürlich läßt sich die Erfindung auch anwenden, um andere Ein- oder Mehrtoninstrumente zu schaffen, bei denen die digitalen Daten zum Darstellen einer gewünschten Bezugswellenform innerhalb des Instruments unter Benutzung von Einrichtungen erzeugt werden, die eine Wiedergabe durch ein Abfragen mit einer gewählten Schrittgeschwindigkeit ermöglichen.

Für Zwecke des Übens oder des Unterrichts ist es bei der erfindungsgemäßen Orgel möglich, mit dem Rechner einen digitalen Cassettenrecorder zusammenarbeiten zu lassen. Die Rechnerbefehle für die über die Tastaturen einzuspielende Musik können dann digital aufgezeichnet werden, und zwar in Form der Ausgangssignale des Tasten- und Register-Kontaktmultiplexers in Verbindung mit Identifizierungswörtern und Taktzeiten. Die Wiedergabegeschwindigkeit kann dann nach Wunsch variiert werden, so daß es z.B. möglich ist, ein schwieriges Musikstück langsam aufzunehmen und es dann mit der richtigen Geschwindigkeit wiederzugeben.

Die Daten werden auf Band im Fernschreibformat aufgezeichnet, wobei ein Fernschreib-Sender- und -Empfängerchip benutzt wird, um die erforderliche Seriell-Parallel-Umsetzung zwischen den Schaltkreisen des Recorders und dem Rechner durchzuführen und

eine Zeitsteuerung zu bewirken.

Dem Band entnommene Daten können auch dem Rechner eingegeben werden, um die technischen Daten der Orgel dadurch zu verändern, daß die Klangfarben der Register verändert werden, und um den Rechner so zu programmieren, daß andere Instrumente nachgeahmt werden.

In der Beschreibung des Aufbaus und der Wirkungsweise des erfundungsgemäßen Instruments wurden bestimmte Parameterwerte, z.B. Verarbeitungszeiten und Speicherkapazitäten, genannt. Diese Werte sind jedoch nur als Beispiele für die gegenwärtige Praxis zu betrachten, und die Erfindung ist nicht auf ihre Verwendung beschränkt. Beispielsweise kann man die Abfragekapazität des Instruments in jedem gewünschten Ausmaß erweitern, indem man mehrere Blöcke mit je 40 Abfragekanälen verwendet.

Der Patentanwalt:



2818083 - 45 -

Nummer: 28 18 083  
Int. Cl. 2: G 10 H 5/00  
Anmeldetag: 25. April 1978  
Offenlegungstag: 8. November 1979

Fig. 1

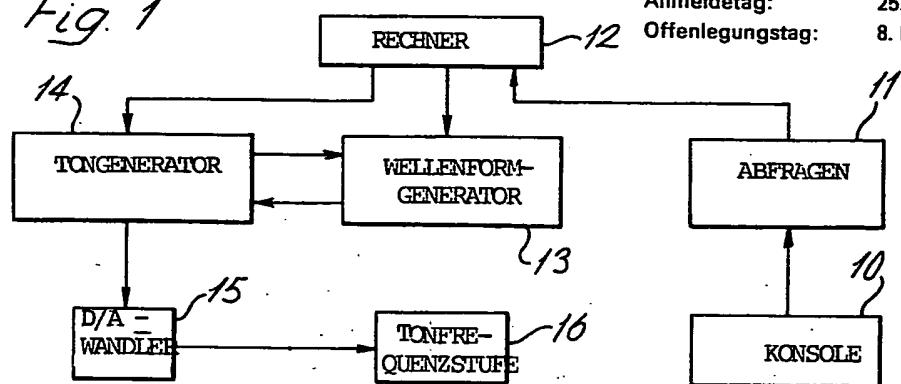
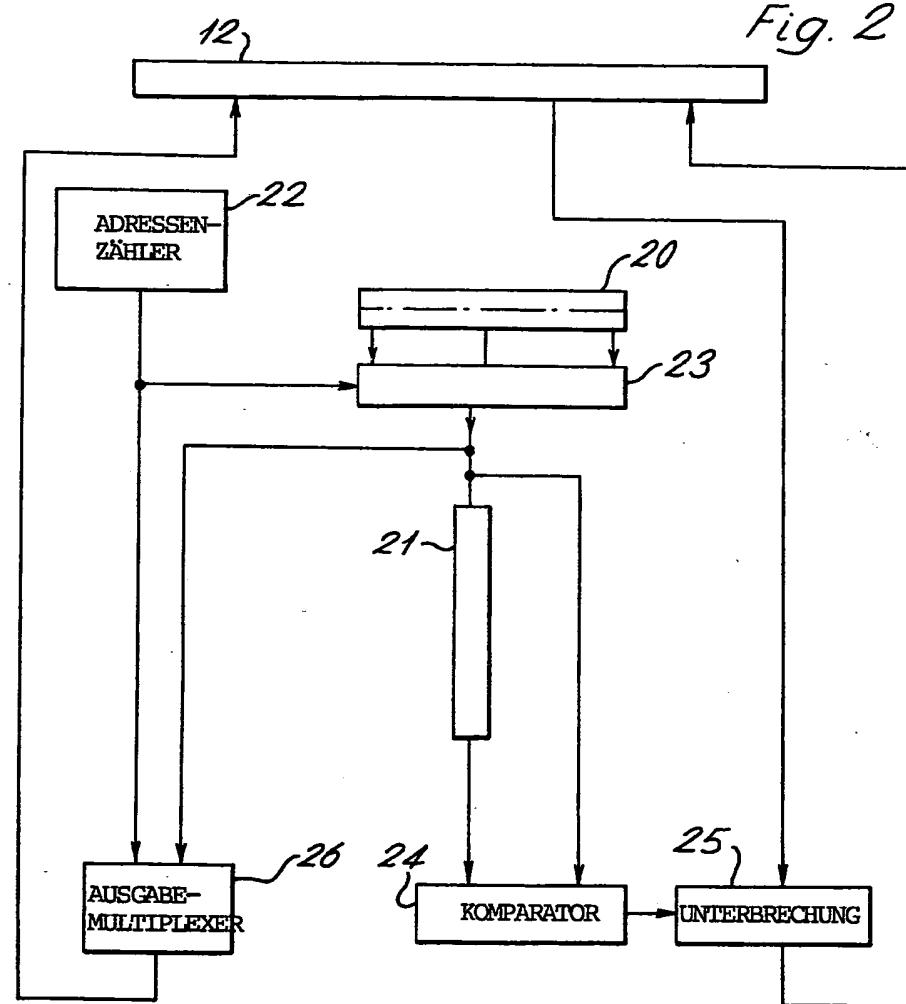


Fig. 2



90984510058

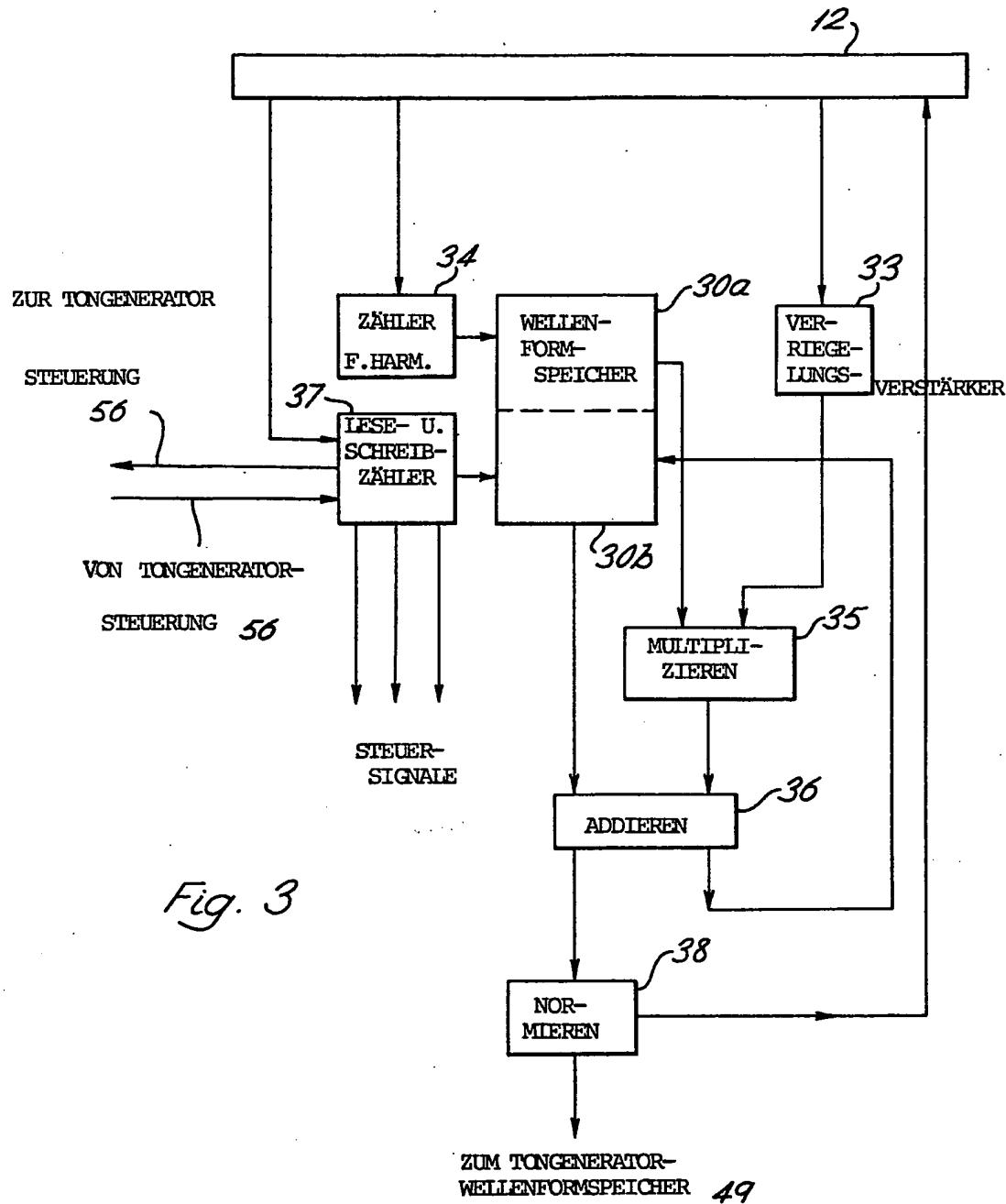
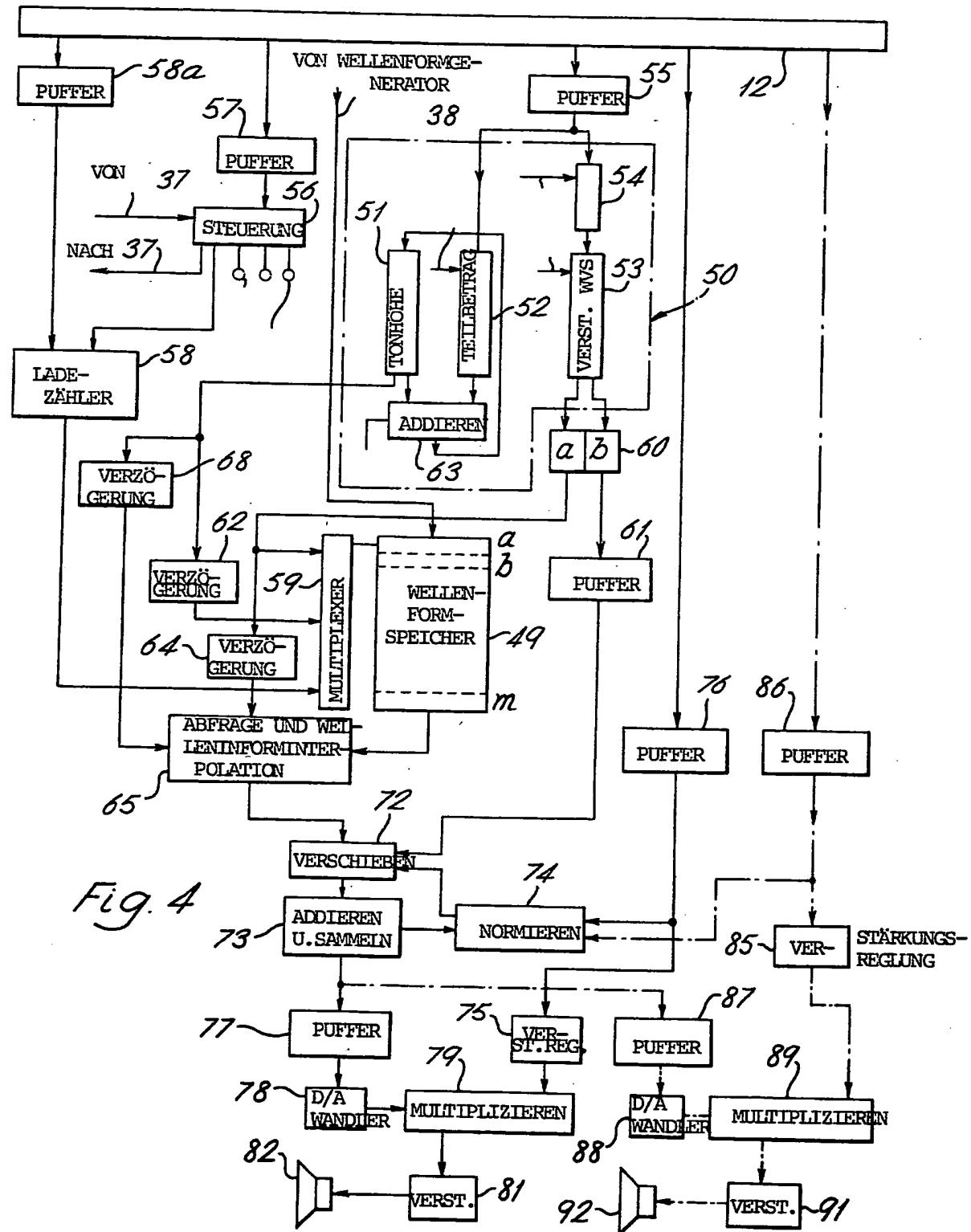


Fig. 3



2818083

- 41 -

## VERARBEITUNG VON TAKTUNTERBRECHUNGEN

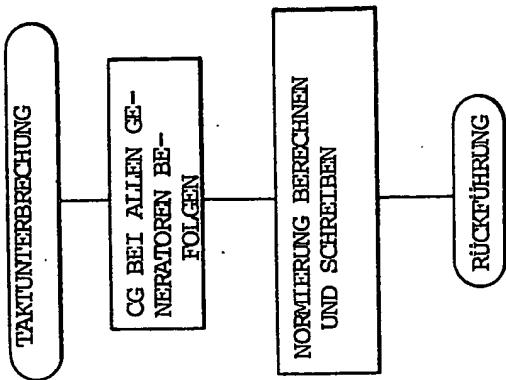


Fig. 5b

## HAUPTPROGRAMM

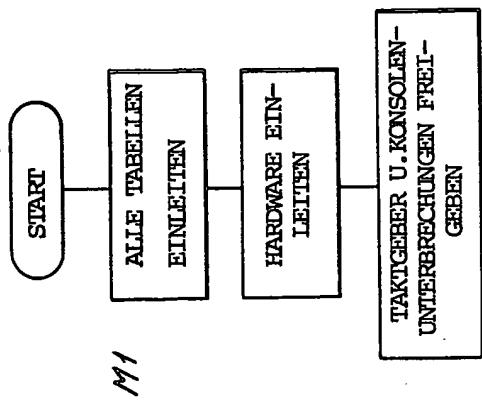
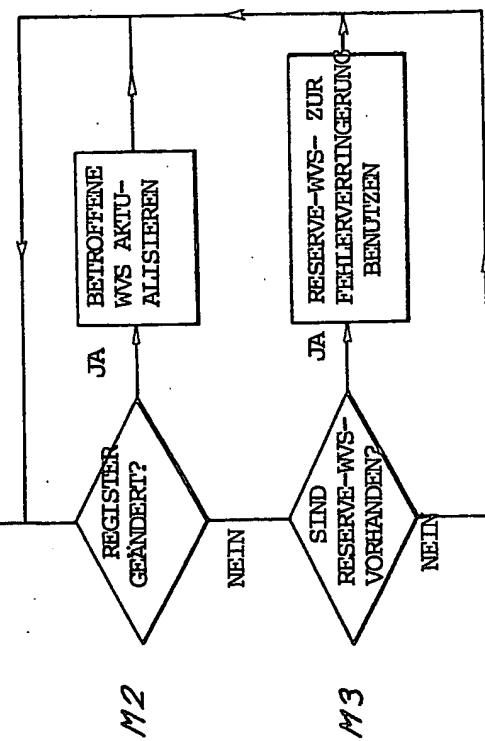


Fig. 5a



909845/0058

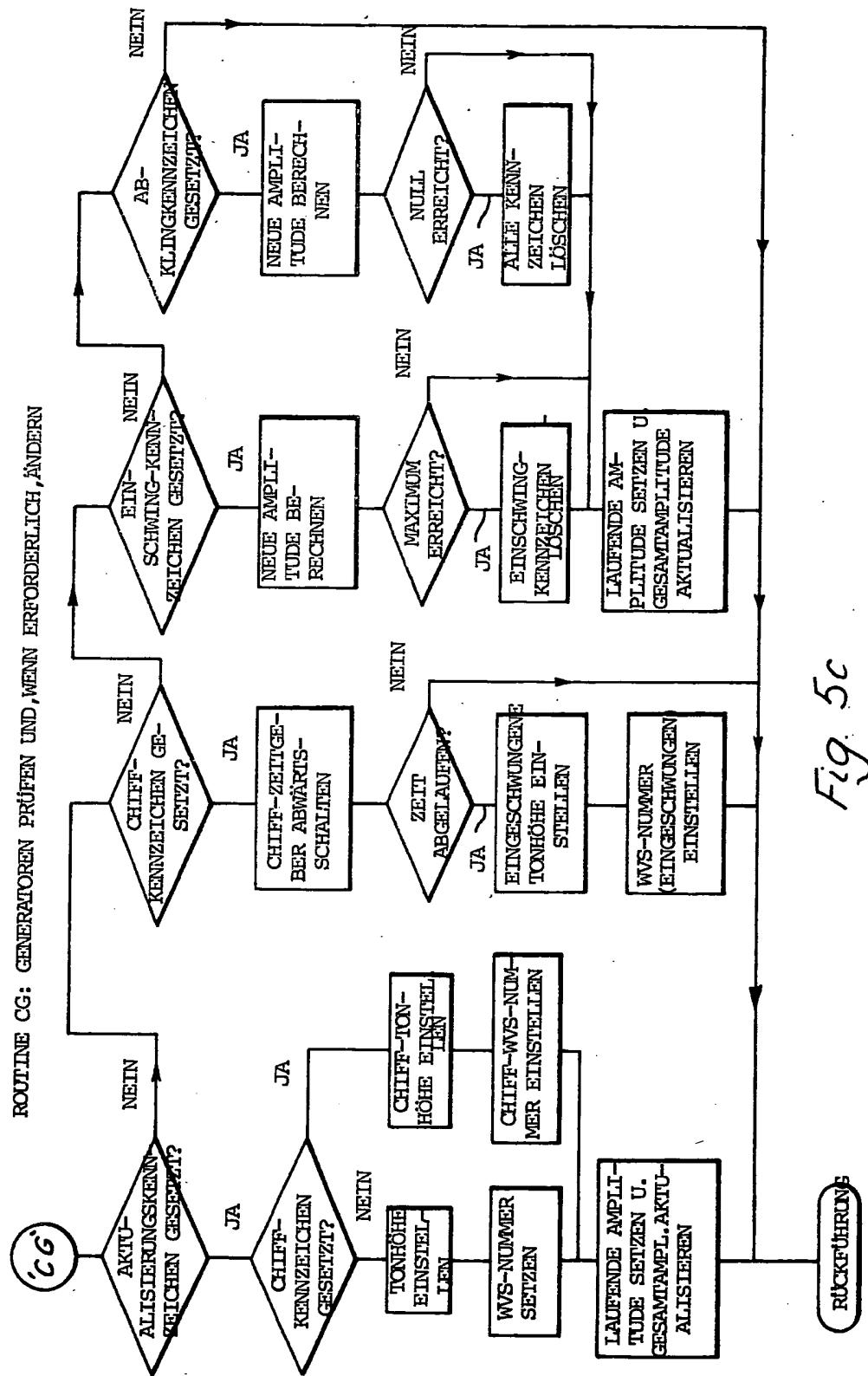
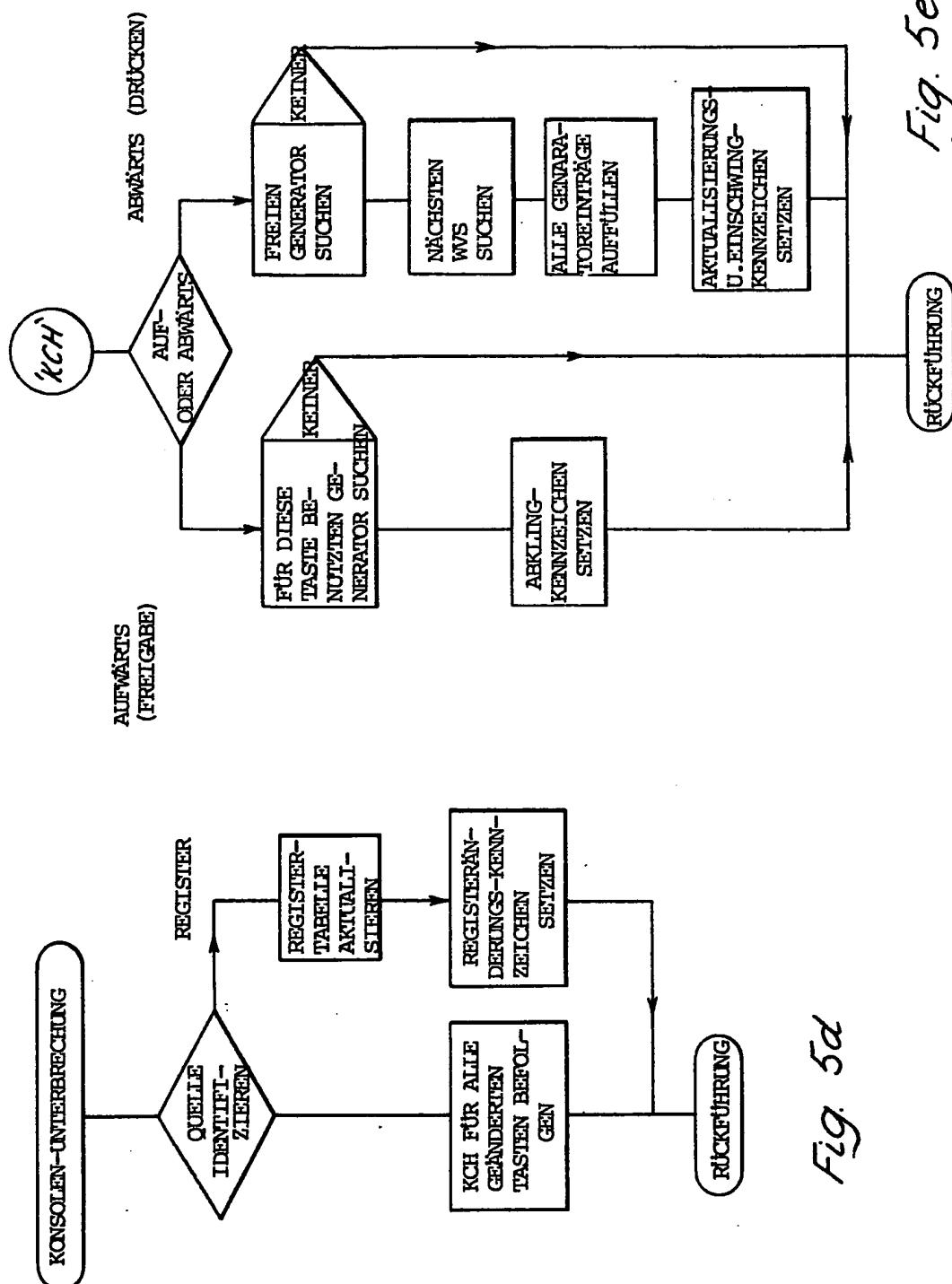


Fig. 5c



- 44 -

2818083

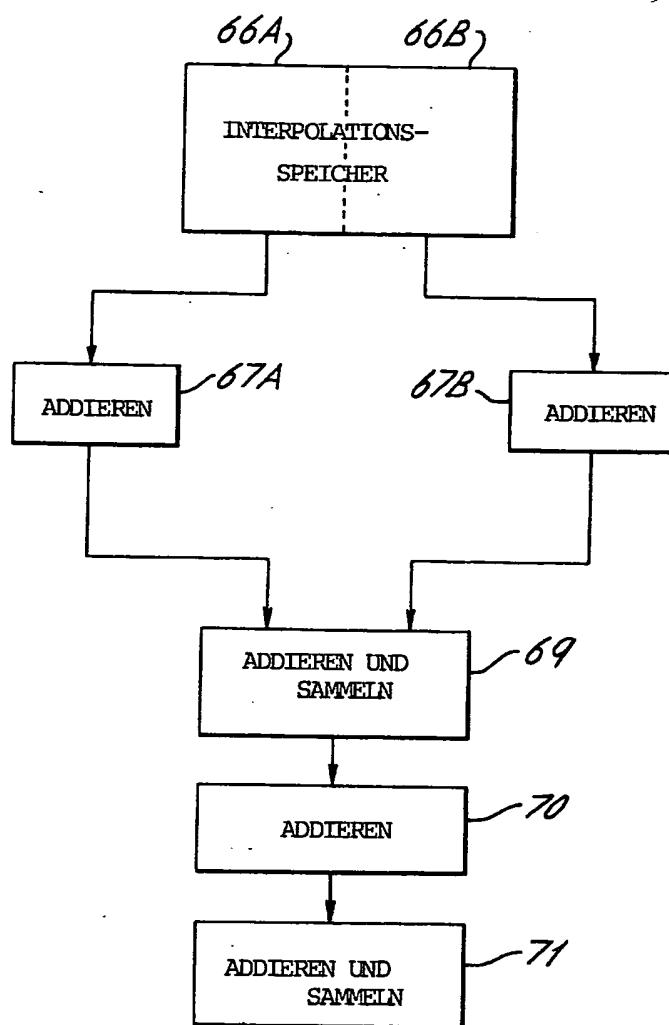


Fig. 6

909845/0058